ИЗВЕСТИЯ
ТОМСКОГО ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА имени С. М. КИРОВА

Том 118 1963

УРАВНИВАНИЕ ПОДЗЕМНОГО СОЕДИНИТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА ПРИ ОРИЕНТИРОВКЕ ЧЕРЕЗ ДВА ВЕРТИКАЛЬНЫХ ШАХТНЫХ СТВОЛА

В. И. АКУЛОВ

(Представлено научным семинаром кафедр маркшейдерского дела и геодезии)

Ориентирование подземных съемок способом „через два вертикальных шахтных ствола“ в практике имеет широкое применение.

Техническая инструкция по производству маркшейдерских работ, издания 1959 г., § 210, требует:

„...При наличии двух сообщающихся вертикальных шахтных стволов ориентировка должна быть обязательно произведена способом „через два вертикальных шахтных ствола“.

При ориентировании подземных съемок способом „через два вертикальных шахтных ствола“ имеется один избыточно измеренный элемент, в связи с чем возникает задача уравнивания подземного соединительного полигона.

Уравнивание, с одной стороны, обеспечивает приведение элементов подземного соединительного полигона в соответствии с исходными данными—координатами отвесов из поверхностной съемки, с другой стороны — повышает точность ориентирования подземных съемок.

Вопрос уравнивания подземного соединительного полигона в маркшейдерской литературе разработан недостаточно; в частности, не разработан общий способ уравнивания предварительно ориентированного подземного соединительного полигона и сети подземных полигонов, замкнутой на два твердых пункта (отвеса).

§1. Анализ известных способов уравнивания подземного соединительного полигона

В отечественной маркшейдерско-геодезической литературе вопрос уравнивания подземного соединительного полигона рассматривается в работах [2, 3, 4, 5, 6, 7].

Проф. Н. Г. Келль [6] при уравнивании подземного соединительного полигона (рис. 1) по методу условных наблюдений, исходя из условия равенства расстояния между отвесами из подземной и поверхностной съемок, получил условное уравнение

$$\sum_{1}^{n}\left(\frac{R''_i}{\rho}\right)\varepsilon_{\beta_i}+\sum_{1}^{n+1}\cos\delta_i\varepsilon_{l_i}+\Delta C=0; \tag{1}$$

$$\Delta C = C_{ш} - C_{п}; \tag{2}$$

$$\delta_i = \alpha_i' - (AB)', \tag{3}$$

где ε_β — поправка к углу в секундах;

ε_l — поправка к длине стороны;

R'' — кратчайшее расстояние от вершины угла до линии створа отвесов;

$(AB)'$, α' — условный дирекционный угол линии створа отвесов и стороны относительно условной оси абсцисс, совпадающей с первой стороной подземного соединительного полигона:

$C_{ш}$ — расстояние между отвесами из подземного соединительного полигона;

$C_{п}$ — расстояние между отвесами из поверхностной съемки;

ΔC — разность расстояний между отвесами из подземной и поверхностной съемок;

$\rho = 206265$.

Из решения условного уравнения (1) под условием $[p_\beta \varepsilon_\beta^2] + [p_l \varepsilon_l^2] = \min$ находятся вероятнейшие поправки к измеренным углам и сторонам полигона.

Дирекционные углы сторон уравненного подземного соединительного полигона в единой системе координат проф. Н. Г. Келль реко-

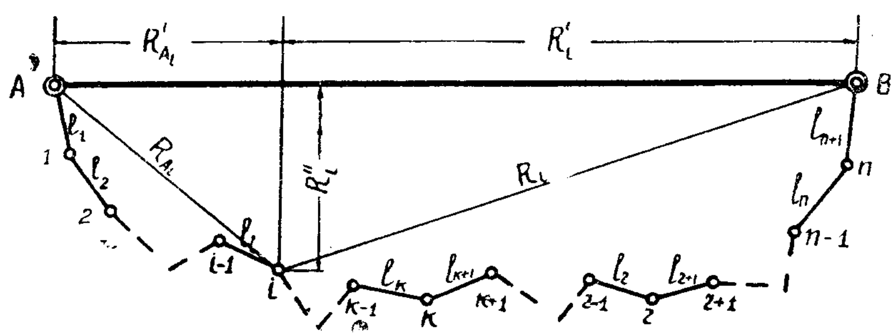

Рис. 1. Схема подземного соединительного полигона при ориентировке через два вертикальных шахтных ствола.

мендует вычислять, исходя из дирекционного угла первой стороны, найденного по формулам:

$$\alpha_1 = (AB) - (AB)'; \tag{4}$$

$$tg\,(AB)' = \frac{y_B'}{x_B'}, \tag{5}$$

где (AB) — дирекционный угол линии створа отвесов из поверхностной съемки;

x_B', y_B' — условные координаты отвеса B относительно условного начала координат, совпадающего с отвесом A, вычисленные по измеренным элементам подземного соединительного полигона.

Рекомендуемая проф. Н. Г. Келлем методика вычисления дирекционных углов сторон уравненного подземного соединительного полигона является неправильной, так как дирекционный угол первой стороны, как это установлено в работе [2], не получает поправки за счет уравнивания.

Доц. Т. А. Буй [3] рекомендует подземный соединительный полигон уравнивать по методу условных наблюдений, исходя из условного уравнения

$$\sum_{1}^{n}\left(\frac{R_i''}{\rho}\right)\varepsilon_{\beta_i}+\sum_{1}^{n+1}\cos\delta_i\,\varepsilon_{l_i}+\omega_x\cos(AB_1)+\omega_y\sin(AB_1)=0, \qquad (6)$$

где ω_x, ω_y — невязки координат подземного соединительного полигона, вычисленные исходя из приближенного значения примычного угла при отвесе A;

(AB_1) — приближенный дирекционный угол замыкающей подземного соединительного полигона.

Условные уравнения (1) и (6) отличаются только свободными членами.

Свободный член условного уравнения (6) после преобразования примет вид:

$$\omega_x\cos(AB_1)+\omega_y\sin(AB_1)=\Delta C+2C_n\sin^2\frac{t_1}{2}, \qquad (7)$$

где t_1 — ошибка определения графическим способом приближенного значения примычного угла при отвесе A.

Из равенства (7) следует, что во всех случаях, когда приближенное значение примычного угла определяется графическим способом, как это рекомендует доц. Т. А. Буй, вместо уравнивания подземного соединительного полигона будет его искажение.

В работе [4] дается строгий и приближенный способы уравнивания подземного соединительного полигона.

При строгом способе уравнивания авторы работы [4] исходят из условного уравнения (1), которое получено ими из геометрического условия

$$\sum_{1}^{n+1} l_i\cos\alpha_i''-C_n=0, \qquad (8)$$

где α'' — условный дирекционный угол стороны относительно условной оси абсцисс, совпадающий с направлением линии створа отвесов.

При составлении из геометрического условия (8) условного уравнения (1) в работе [4] принято, что условный дирекционный угол первой стороны относительно условной оси абсцисс, совпадающей с направлением линии створа отвесов, не зависит от измеренных элементов полигона, что не соответствует действительности.

Кратчайшие расстояния от вершин полигона до линии створа отвесов авторы работы [4] рекомендуют определять аналитически. Для целей уравнивания кратчайшие расстояния с достаточной точностью можно определять более производительным графическим способом.

Упрощенный способ уравнивания, рекомендуемый в работе [4], впервые был предложен инж. Б. А. Ростковским [7].

Инж. Б. А. Ростковский [7] рекомендует всю линейную невязку подземного соединительного полигона независимо от его формы распределять между сторонами полигона.

Техническая инструкция по производству маркшейдерских работ издания 1959 г. рекомендует невязки координат подземного соединительного полигона распределять пропорционально длинам сторон.

Доц. Ж. С. Ержанов [5] критикует рекомендуемый Технической маркшейдерской инструкцией способ распределения невязок координат подземного соединительного полигона пропорционально длинам сторон.

Доц. Ж. С. Ержанов считает, что при распределении невязок координат пропорционально длинам сторон вся линейная невязка подземного соединительного полигона погашается за счет сторон полигона. В связи с этим доц. Ж. С. Ержанов предлагает свой „способ" распределения линейной невязки подземного соединительного полигона между сторонами и углами, который является не только неправильным, но и невозможным по самой идее.

Мнение доц. Ж. С. Ержанова о том, что при распределении невязок координат пропорционально длинам сторон вся линейная невязка подземного соединительного полигона погашается за счет сторон, не соответствует действительности.

Из анализа литературных источников следует, что строгий способ уравнивания ориентировки через два вертикальных шахтных ствола требует дополнительного теоретического исследования, которое излагается ниже.

§2. Уравнивание подземного соединительного полигона по методу условных наблюдений

Подземный соединительный полигон, как полигон, замкнутый в координатах, вычисляется в единой системе координат без одной измеренной стороны, например, без стороны с номером κ, как это установлено автором [1], по формулам:

$$\alpha_{1_\kappa} = (AB) + \varphi_\kappa - \alpha'_\kappa; \tag{9}$$

$$\sin\varphi_\kappa = \frac{X'_B \sin\alpha'_\kappa - Y'_B \cos\alpha'_\kappa}{C_n}, \tag{10[1]}$$

где α_{1_κ} — дирекционный угол в единой системе координат первой стороны, вычисленный без стороны с номером κ;

α'_κ — условный дирекционный угол стороны, без которой вычислен полигон относительно условной оси абсцисс, совпадающей с первой стороной полигона;

φ_κ — угол между линией створа отвесов и стороной, без которой вычислен полигон.

Сторона, без которой вычисляется подземный соединительный полигон, является избыточно измеренной величиной.

Следовательно, любая сторона подземного соединительного полигона может быть принята за избыточно измеренную величину.

Примем сторону с номером κ (рис. 1) за избыточно измеренную величину.

Избыточно измеренная сторона требует выполнения в подземном соединительном полигоне следующего геометрического условия:

$$l'_\kappa - l_\kappa = 0, \tag{11}$$

в котором

$$l'_\kappa = \sqrt{(X_\kappa - X_{\kappa-1})^2 + (Y_\kappa - Y_{\kappa-1})^2}, \tag{12}$$

где l_κ — измеренная длина стороны с номером κ;

l'_κ — вычисленная длина стороны с номером κ;

$X_{\kappa-1}$, $Y_{\kappa-1}$ X_κ, Y_κ, — координаты вершин полигона, ограничивающих сторону с номером κ, т. е. сторону, без которой вычислен полигон.

---

[1]) Угол φ_κ, вычисленный по формуле (10), не зависит от стороны, без которой вычисляется полигон.

Вследствие ошибок измерений геометрическое условие (11) не будет удовлетворяться, в связи с чем возникает задача уравнивания.

Невязку геометрического условия (11) в связи с более высокой точностью поверхностных съемок будем распределять между измеренными элементами подземного соединительного полигона.

Из геометрического условия (11) вытекает следующее условное уравнение:

$$\sum_1^n \left(\frac{R_i''}{\rho}\right) \varepsilon_{\beta_i} + \sum_1^{n+1} \cos \delta_i \varepsilon_{l_i} - \Delta l_\kappa \cos \varphi_\kappa = 0; \qquad (13)$$

$$\Delta l = l'_\kappa - l_\kappa \ .$$

Связь между Δl и ΔC выражается формулой:

$$\Delta l_\kappa = -\frac{\Delta C}{\cos \varphi_\kappa}\ . \qquad (14)^{2)}$$

Учитывая равенство (14), условное уравнение (13) примет вид условного уравнения (1).

Кратчайшие расстояния R'' от вершин подземного соединительного полигона до линии створа отвесов, входящие в условное уравнение (1), определяются с точностью до метра графически с плана масштаба 1 : 500 или 1 : 1000, при этом учитывается их знак.

Для левых углов кратчайшие расстояния R'' имеют знак плюс для вершин, расположенных справа от линии створа отвесов, и знак минус — для вершин, расположенных слева от линии створа отвесов.

Решая условное уравнение (1) под условием $[p_\beta \varepsilon_\beta^2] + [p_l \varepsilon_l^2] = \min.$, получим нормальное уравнение коррелаты

$$\left\{\left[\frac{R_i''^2}{\rho^2 p_{\beta_i}}\right] + \left[\frac{\cos^2 \delta_i}{p_{l_i}}\right]\right\} K + \Delta C = 0. \qquad (15)$$

Веса измеренных углов и длин сторон подземного соединительного полигона определяются из соотношения:

$$m_{\beta_i}^2 p_{\beta_i} = m_{l_i}^2 p_{l_i} = m^2. \qquad (16)$$

Отсюда

$$p_{\beta_i} = \frac{m^2}{m_{\beta_i}^2}; \qquad (17)$$

$$p_{l_i} = \frac{m^2}{m_{l_i}^2}, \qquad (18)$$

где m_β, m_l — средние квадратические ошибки измерений угла и длины стороны соответственно;

m — средняя квадратическая ошибка измерения, вес которого равен единице;

p_β, p_l — вес угла и длины стороны соответственно.

---

2) Формула (14) справедлива для сторон, не перпендикулярных линий створа отвесов.

Вероятнейшие поправки к углам и длинам сторон и их уравненные значения вычисляются по формулам:

$$\varepsilon_{\beta_i} = \frac{R_i''}{\rho p_{\beta_i}} K; \tag{19}$$

$$\varepsilon_{l_i} = \frac{\cos \delta_i}{p_{l_i}} K; \tag{20}$$

$$\overline{\beta}_i = \beta_i + \varepsilon_{\beta_i}; \tag{21}$$

$$\overline{l}_i = l_i + \varepsilon_{l_i}, \tag{22}$$

где β, $\overline{\beta}$ — измеренный и уравненный угол;

l, $\overline{l}$ — измеренная и уравненная длина стороны.

Для вычисления уравненного подземного соединительного полигона в единой системе координат необходимо предварительно в этой же системе координат определить уравненный дирекционный угол его первой стороны, который может быть вычислен двумя путями.

Первый путь

По уравненным углам и длинам сторон вновь вычисляется подземный соединительный полигон в условной системе координат, в которой условная ось абсцисс совпадает с первой стороной полигона, а условное начало координат — с отвесом A.

Уравненный дирекционный угол первой стороны полигона в единой системе координат вычисляется по формулам:

$$\overline{\alpha}_1 = (AB) - (\overline{AB})'; \tag{23}$$

$$\operatorname{tg}(\overline{AB})' = \frac{\overline{Y}_B'}{\overline{X}_B'}, \tag{24}$$

где $\overline{X}_B'$, $\overline{Y}_B'$ — уравненные условные координаты отвеса B;

$(\overline{AB})'$ — уравненный условный дирекционный угол линии створа отвесов.

Правильность уравнивания контролируется равенством расстояний между отвесами из уравненного подземного соединительного полигона и из поверхностной съемки.

Второй путь

По дифференциальным формулам вычисляются поправки к отдельным приращениям координат, затем — поправки к условным координатам отвеса B за счет уравнивания подземного соединительного полигона.

Поправки вычисляются по формулам:

$$\varepsilon_{\Delta x_i} = \varepsilon_{l_i} \cos \alpha_i' - \frac{\varepsilon \alpha_i'}{\rho} \Delta y_i'; \tag{25}$$

$$\varepsilon_{\Delta y_i} = \varepsilon_{l_i} \sin \alpha_i' + \frac{\varepsilon \alpha_i'}{\rho} \Delta x_i'; \tag{26}$$

$$\varepsilon_{\alpha_i'} = \sum_{1}^{i-1} \varepsilon_{\beta_i}; \tag{27}$$

$$\varepsilon_{x_B'} = \sum_{1}^{n+1} \varepsilon_{\Delta x_i}; \tag{28}$$

$$\varepsilon_{y_B'} = \sum_{1}^{n+1} \varepsilon_{\Delta y_i}, \tag{29}$$

где $\varepsilon_{\Delta x}$, $\varepsilon_{\Delta y}$ — поправки к условным приращениям координат;

$\varepsilon_{\alpha'}$ — поправка к условному дирекционному углу стороны;

$\varepsilon_{x_B'}$, $\varepsilon_{y_B'}$ — поправка к условным координатам x_B, y_B отвеса B.

Правильность уравнивания подземного соединительного полигона контролируется равенством:

$$\varepsilon_{x_B'} \cos (AB)' + \varepsilon_{y_B'} \sin (AB)' = -\Delta C. \tag{30}$$

Поправка к дирекционному углу первой стороны, вычисленному по формуле (4), за счет уравнивания подземного соединительного полигона определяется по формуле:

$$\varepsilon_{\alpha_1} = -\rho \frac{U}{C}; \tag{31}$$

$$U = \varepsilon_{y_B'} \cos (AB)' - \varepsilon_{x_B'} \sin (AB)', \tag{32}$$

где U — поперечное смещение отвеса B относительно линии створа отвесов за счет уравнивания полигона;

C — расстояние между отвесами.

Уравненный дирекционный угол первой стороны полигона в единой системе координат вычисляется по формуле

$$\bar{\alpha}_1 = \alpha_1 + \varepsilon_{\alpha_1}. \tag{33}$$

Уравненные дирекционные углы остальных сторон подземного соединительного полигона вычисляются, исходя из уравненного дирекционного угла первой стороны.

По уравненным дирекционным углам и длинам сторон вычисляются приращения координат и координаты всех вершин подземного соединительного полигона в единой системе.

Правильность вычисления уравненного подземного соединительного полигона в единой системе координат контролируют равенством координат отвеса B из уравненного полигона и поверхностной съемки.

Средняя квадратическая ошибка $M\alpha_к$ уравненного дирекционного угла стороны с номером $к$ определяется по формулам:

$$M\alpha_к = \pm m \sqrt{\frac{1}{P\alpha_к}}; \tag{34}$$

$$\frac{1}{P\alpha_к} = \left[\frac{ff}{p}\right] - \frac{\left[\frac{af}{p}\right]^2}{\left[\frac{aa}{p}\right]}; \tag{35}$$

$$\left[\frac{ff}{p}\right] = \left[\frac{f_\beta f_\beta}{p_\beta}\right] + \left[\frac{f_l f_l}{p_l}\right]; \tag{36}$$

$$\left[\frac{af}{p}\right] = \left[\frac{a_\beta f_\beta}{p_\beta}\right] + \left[\frac{a_l f_l}{p_l}\right]; \tag{37}$$

$$\left[\frac{aa}{p}\right] = \left[\frac{R_i''^2}{\rho^2 p_{\beta_i}}\right] + \left[\frac{\cos^2\delta_i}{p_l}\right]. \tag{38}$$

Величины f_β и f_l обозначают частные производные по углу и стороне соответственно от функции:

$$\alpha_\kappa = \alpha_1 + \sum_1^{\kappa-1} \beta_i \pm (\kappa - 1)\,180^\circ. \tag{39}$$

Из (39) имеем:

$$f_{\beta_{i(i<\kappa)}} = 1 - \frac{R_i'}{C}; \tag{40}$$

$$f_{\beta_{i(i\geqslant\kappa)}} = -\frac{R_i'}{C}; \tag{40a}$$

$$f_{l_i} = -\frac{\rho\sin\delta_i}{C}, \tag{41}$$

где R' — проекция расстояния, соединяющего вершину угла полигона с отвесом B, на линию створа отвесов.

Проекции R' определяются с точностью до метра графически с плана подземного соединительного полигона, составленного в масштабе 1 : 500 или 1 : 1000, при этом необходимо учитывать знак проекций R'.

Для левых углов проекция R' имеет знак плюс, если ее направление, считая от вершины угла к отвесу B, совпадает с направлением линии створа отвесов AB, и знак минус, — когда не совпадает.

Средняя квадратическая ошибка m измерения с весом 1 вычисляется по формуле

$$m = \pm\sqrt{[p_{\beta_i}\varepsilon^2_{\beta_i}] + [p_{l_i}\varepsilon^2_{l_i}]} \tag{42}$$

§3. Уравнивание вытянутого подземного соединительного полигона

Условное уравнение (1) для вытянутого подземного соединительного полигона примет вид

$$\sum_1^{n+1} \varepsilon_{l_i} + \Delta C = 0. \tag{43}$$

Принимая за вес стороны величину, обратно пропорциональную ее длине, т. е. $p_l = \frac{1}{l}$, из условного уравнения (43) получим нормальное уравнение коррелаты

$$[l]\,K + \Delta C = 0.$$

Отсюда

$$K = -\frac{\Delta C}{[l]},$$

где $[l]$ — длина хода.

Вероятнейшие поправки к длинам сторон вычисляются по формуле

$$\varepsilon_{l_i} = -\frac{\Delta C}{[l]} l_i. \qquad (44)$$

Для вытянутого хода $[l] = C_ш$, поэтому формула (44) примет вид

$$\varepsilon_{l_i} = -\frac{\Delta C}{C_ш} l_i \qquad (44а)$$

или

$$\varepsilon_{l_i} = -\frac{C_ш - C_n}{C_ш} l_i. \qquad (44б)$$

Уравненная длина стороны равна

$$\bar{l}_i = l_i + \varepsilon_{l_i} \qquad (45)$$

или

$$\bar{l}_i = \frac{C_n}{C_ш} l_i. \qquad (45а)$$

Формула (45а) рекомендуется инж. Б. А. Ростковским [7] для любой формы подземного соединительного полигона.

Поправки к приращениям координат за счет уравнивания полигона составят:

$$\varepsilon_{\Delta x_i} = \varepsilon_{l_i} \cos(AB);$$

$$\varepsilon_{\Delta y_i} = \varepsilon_{l_i} \sin(AB),$$

или

$$\varepsilon_{\Delta x_i} = -\frac{\Delta C \cos(AB)}{[l]} l_i;$$

$$\varepsilon_{\Delta y_i} = -\frac{\Delta C \sin(AB)}{[l]} l_i.$$

Так как

$$f_x = \Delta C \cos(AB);$$

$$f_y = \Delta C \sin(AB), \qquad (46)$$

то

$$\varepsilon_{\Delta x_i} = -\frac{f_x}{[l]} l_i;$$

$$\varepsilon_{\Delta y_i} = -\frac{f_y}{[l]} l_i, \qquad (47)$$

где f_x, f_y невязки координат подземного соединительного полигона.

Следовательно, при строгом уравнивании вытянутого подземного соединительного полигона невязки координат распределяются пропорционально длинам сторон, что соответствует способу уравнивания, рекомендуемому Технической инструкцией по производству маркшейдерских работ.

Таким образом, упрощенные способы уравнивания, рекомендуемые инж. Б. А. Ростковским и Технической маркшейдерской инструкцией, соответствуют строгому способу уравнивания только при вытянутой форме подземного соединительного полигона.

§4. Уравнивание предварительно ориентированного подземного соединительного полигона

Если в подземном соединительном полигоне (рис. 1) имеется некоторая сторона с номером $к$, дирекционный угол которой установлен из предыдущей ориентировки через один или два вертикальных шахтных ствола или же определен из магнитной или гироскопической ориентировки, то при уравнивании полигона по методу условных наблюдений будет два условных уравнения, вытекающие из геометрических условий:

$$\begin{aligned} C_ш - C_п &= 0; \\ \alpha_к - \alpha_к^{\circ} &= 0; \end{aligned} \qquad (48)$$

где $\alpha_к$, $\alpha_к^{\circ}$ — дирекционные углы $к$-й стороны соответственно из предыдущей ориентировки и из ориентировки через два вертикальных ствола.

Так как дирекционный угол как из геометрической (через один или два вертикальных ствола), так и из негеометрической (гироскопической или магнитной) ориентировок обычно определяется с ошибкой, превышающей ошибку измерения горизонтального угла, то при составлении условных уравнений из геометрических условий (48) необходимо дирекционный угол из предыдущей ориентировки считать измеренной величиной, подлежащей исправлению за счет уравнивания подземного соединительного полигона.

Из геометрических условий (48) получим условные уравнения:

$$\begin{aligned} &\sum_1^n \left(\frac{R_i''}{\rho}\right)\varepsilon_{\beta_i} + \sum_1^{n+1} \cos\delta_i \varepsilon_{l_i} + \Delta C = 0; \\ &\varepsilon_{\alpha_к} - \sum_1^{к-1}\left(\frac{R'_{A_i}}{C}\right)\varepsilon_{\beta_i} + \sum_к^n \left(\frac{R'_i}{C}\right)\varepsilon_{\beta_i} - \frac{\rho''}{C}\sum_1^{n+1}\sin\delta_i\,\varepsilon_{l_i} + V_{\alpha_к} = 0, \end{aligned} \qquad (49)$$

где $\varepsilon_{\alpha_к}$ — поправка к дирекционному углу из предыдущей ориентировки;

R'_A — проекция расстояния от вершины угла до отвеса A на линию створа отвесов;

$v_{\alpha_к}$ — невязка в дирекционных углах к-й стороны, т. е. свободный член второго условного уравнения.

Свободный член второго условного уравнения определяется по формуле

$$v_{\alpha_к} = \alpha_к - \alpha_к^{\circ}. \qquad (50)$$

Если подземный соединительный полигон предварительно вычислен в единой системе координат, исходя из дирекционного угла, полученного из предыдущей ориентировки, и координат отвеса A, то условные уравнения (49) можно записать в следующем виде:

$$
\left.
\begin{aligned}
&-\frac{Y_B-Y_A}{\rho}\varepsilon_{\alpha_\kappa}-\frac{1}{\rho}\sum_{1}^{\kappa-1}(Y_A-Y_i)\varepsilon_{\beta_i}-\frac{1}{\rho}\sum_{\kappa}^{n}(Y_B-Y_i)\varepsilon_{\beta_i}+\\
&\qquad+\sum_{1}^{n+1}\cos\alpha_i\varepsilon_{l_i}+f_x=0;\\
&\frac{X_B-X_A}{\rho}\varepsilon_{\alpha_\kappa}+\frac{1}{\rho}\sum_{1}^{\kappa-1}(X_A-X_i)\varepsilon_{\beta_i}+\frac{1}{\rho}\sum_{\kappa}^{n}(X_B-X_i)\varepsilon_{\beta_i}+\\
&\qquad+\sum_{1}^{n+1}\sin\alpha_i\varepsilon_{l_i}+f_y=0,
\end{aligned}
\right\}
\tag{49a}
$$

где f_x, f_y — невязки координат подземного соединительного полигона.

Решив систему условных уравнений (49) или (49a) под условием

$$\{p_{\alpha_\kappa}\varepsilon^2_{\alpha_\kappa}+[p_\beta\varepsilon^2_\beta]+[p_l\varepsilon^2_l]\}=\min,$$

найдем вероятнейшие поправки как к дирекционному углу из предыдущей ориентировки, так и к измеренным углам и сторонам подземного соединительного полигона.

Вес дирекционного угла из предыдущей ориентировки определяется по формуле

$$P_{\alpha_\kappa}=\frac{m^2}{m^2_{\alpha_\kappa}}. \tag{51}$$

Средняя квадратическая ошибка m_{α_κ} дирекционного угла из предыдущей ориентировки устанавливается или по результатам двойных независимых ориентировок, или по предрасчету.

Если из предыдущей ориентировки известен дирекционный угол первой стороны подземного соединительного полигона, то условные уравнения (49 а) примут вид:

$$
\left.
\begin{aligned}
&-\frac{Y_B-Y_A}{\rho}\varepsilon_{\alpha_1}-\frac{1}{\rho}\sum_{1}^{n}(Y_B-Y_i)\varepsilon_{\beta_i}+\sum_{1}^{n+1}\cos\alpha_i\varepsilon_{l_i}+f_x=0;\\
&\frac{X_B-X_A}{\rho}\varepsilon_{\alpha_1}=\frac{1}{\rho}\sum_{1}^{n}(X_B-X_i)\varepsilon_{\beta_i}+\sum_{1}^{n+1}\sin\alpha_1\varepsilon_{l_i}+f_y=0.
\end{aligned}
\right\}
\tag{52}
$$

Когда в подземном соединительном полигоне имеется две стороны, например κ-я и r-я (рис. 1), с дирекционными углами, известными из предыдущих ориентировок, то количество условных уравнений будет равно трем; из них одно — абсцисс, другое — ординат и третье — дирекционных углов. Последнее уравнение имеет вид

$$\varepsilon_{\alpha_\kappa} + \sum_{\kappa}^{r-1} \varepsilon_{\beta_i} - \varepsilon_{\alpha_r} + v_{\alpha_r} = 0 . \qquad (53)$$

Свободный член условного уравнения (53) определяется по формуле

$$v_{\alpha_r} = \alpha_\kappa + \sum_{\kappa}^{r-1} \beta_i \pm (r - \kappa)\, 180^\circ - \alpha_r, \qquad (54)$$

где α_κ, α_r — значения дирекционных углов сторон с номером κ и r, полученные из предыдущих ориентировок.

Условные уравнения абсцисс и ординат имеют вид соответственно первого и второго уравнения системы (49а).

Если из предыдущих ориентировок известны дирекционные углы первой и последней сторон и подземный соединительный полигон вычислен в единой системе координат, исходя из дирекционного угла первой стороны и координат отвеса А, то условные уравнения абсцисс, ординат и дирекционных углов будут иметь вид:

$$-\frac{Y_B - Y_A}{\rho}\varepsilon_{\alpha_1} - \frac{1}{\rho}\sum_{1}^{n}(Y_B - Y_i)\,\varepsilon_{\beta_i} + \sum_{1}^{n+1}\cos\alpha_i\varepsilon_{l_i} + f_x = 0;$$

$$\frac{X_B - X_A}{\rho}\varepsilon_{\alpha_1} + \frac{1}{\rho}\sum_{1}^{n}(X_B - X_i)\,\varepsilon_{\beta_i} + \sum_{1}^{n+1}\sin\alpha_1\varepsilon_{l_i} + f_y = 0; \qquad (55)$$

$$\varepsilon_{\alpha_1} + \sum_{1}^{n}\varepsilon_{\beta_i} - \varepsilon_{\alpha_{n+1}} + v_{\alpha_{n+1}} = 0.$$

Свободный член третьего условного уравнения равен

$$v_{\alpha_{n+1}} = \alpha_1 + \sum_{1}^{n}\beta_i \pm n \cdot 180^\circ - \alpha_{n+1}, \qquad (56)$$

где α_1, α_{n+1} — значения дирекционных углов первой и последней сторон, известные из предыдущих ориентировок.

§5. Уравнивание сети подземных соединительных полигонов

При ориентировке подземных съемок по способу „через два вертикальных шахтных ствола“ на ориентируемом горизонте между отвесами А и В проходится иногда не один соединительный полигон, а сеть соединительных полигонов (рис. 2, 3, 4 и 5).

В сети подземных соединительных полигонов, изображенной на рис. 2 и 4, возникает четыре условных уравнения: одно — жесткой стороны AB, имеющее вид условного уравнения (1), одно — абсцисс, одно — ординат и одно — фигуры. Последние три условных уравнения составляются для замкнутого полигона 1-2-3-4-5-6-1.

Условное уравнение жесткой стороны AB составляется для полигона A—1—6—5—B.

В сети, изображенной на рис. 3, возникает семь условных уравнений, из них: одно—жесткой стороны AB, два—абсцисс, два—ординат и два—фигур. Условные уравнения абсцисс, ординат и фигур составляются для замкнутых полигонов 1—2—3—7—6—1 и 3—4—5—6—7—3.

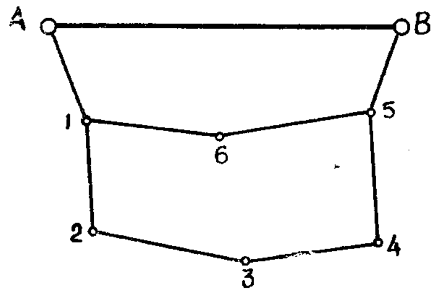

Рис. 2. Односторонняя сеть с одним замкнутым полигоном.

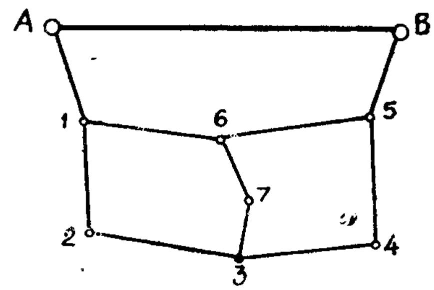

Рис. 3. Односторонняя сеть с двумя замкнутыми полигонами.

В сети, представленной на рис. 5, имеется восемь условных уравнений: одно — жесткой стороны AB, одно — фигуры для замкнутого полигона 1—2—3—4—5—6—1, три—абсцисс и три—ординат. Условные уравнения абсцисс и ординат составляются для замкнутых полигонов A—1—6—A, B—3—4—B и 1—2—3—4—5—6—1.

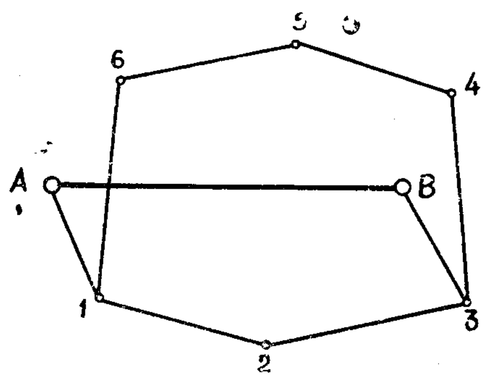

Рис. 4. Двусторонняя сеть с одним замкнутым полигоном.

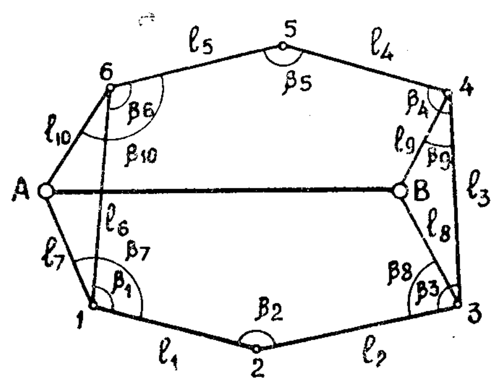

Рис. 5. Сложная двусторонняя сеть.

Общее количество условных уравнений в сети подземных соединительных полигонов, опирающихся на два твердых пункта (отвеса), определяется по формуле

$$R = N - 2p + 4; \tag{57}$$

где N — количество измеренных углов и сторон в сети;

p — количество всех пунктов в сети, включая и твердые пункты (отвесы).

Напишем в качестве примера вид условных уравнений для сети, изображенной на рис. 5.

После уравнивания в сети должно быть выполнено восемь геометрических условий:

а) в полигоне A-1-2-3-B:

$$C_ш - C_п = 0;$$

б) в полигоне 1-2-3-4-5-6-1:

$$\sum_1^6 \beta_i - 720^\circ = 0;$$

$$\sum_1^6 \Delta x'_i = 0;$$

$$\sum_1^6 \Delta y'_i = 0;$$

в) в полигоне A-1-6-A:

$$\sum_{i=6,\,7,\,10} \Delta x'_i = 0;$$

$$\sum_{i=6,\,7,\,10} \Delta y'_i = 0;$$

г) в полигоне B-3-4-B:

$$\sum_{i=8,\,3,\,9} \Delta x'_i = 0;$$

$$\sum_{i=8,\,3,\,9} \Delta y'_i = 0.$$

Здесь $\Delta x'$ и $\Delta y'$ условные приращения координат относительно условной оси абсцисс, совпадающей со стороной „A-1".

Из геометрических условий вытекают следующие условные уравнения:

$$1.\ \sum_{i=7,\,2,\,8} \left(\frac{R''_i}{\rho}\right) \varepsilon_{\beta_i} + \sum_{i=7,\,1,\,2,\,8} \cos \delta_i \varepsilon_{l_i} + \Delta C = 0;$$

$$2.\ \sum_{i=1}^{6} \varepsilon_{\beta_i} + v_\beta = 0;$$

$$3.\ -\sum_1^6 \frac{(Y'_1 - Y'_i)}{\rho} \varepsilon_{\beta_i} + \sum_1^6 \cos \alpha'_i \varepsilon_{l_i} + f_{x_1} = 0;$$

$$4.\ \sum_1^6 \frac{(X'_1 - X'_i)}{\rho} \varepsilon_{\beta_i} + \sum_1^6 \sin \alpha'_i \varepsilon_{l_i} + f_{y_1} = 0; \tag{58}$$

$$5.\ \frac{Y'_A - Y'_1}{\rho} \varepsilon_{\beta_1} + \frac{Y'_A - Y'_6}{\rho} \varepsilon_{\beta_6} - \frac{Y'_A - Y'_1}{\rho} \varepsilon_{\beta_7} - \frac{Y'_A - Y'_6}{\rho} \varepsilon_{\beta_{10}} + \sum_{i=7,\,6,\,10} \cos \alpha'_i \varepsilon_{l_i} + f_{x_2} = 0.$$

$$6.\ -\frac{X'_A - X'_1}{\rho} \varepsilon_{\beta_1} - \frac{X'_A - X'_6}{\rho} \varepsilon_{\beta_6} + \frac{X'_A - X'_1}{\rho} \varepsilon_{\beta_7} + \frac{X'_A - X'_6}{\rho} \varepsilon_{\beta_{10}} +$$

$$+\sum_{i=7,\,6,\,10}\sin\alpha'_i\varepsilon_{l_i}+f_{y_2}=0;$$

$$7.\quad -\frac{Y'_B-Y'_3}{\rho}\varepsilon_{\beta_3}-\frac{Y'_B-Y'_4}{\rho}\varepsilon_{\beta_4}+\frac{Y'_B-Y'_3}{\rho}\varepsilon_{\beta_8}+\frac{Y'_B-Y'_4}{\rho}\varepsilon_{\beta_9}+$$

$$+\sum_{i=8,\,3,\,9}\cos\alpha'_i\varepsilon_{l_i}+f_{x_3}=0; \qquad (58)$$

$$8.\quad \frac{X'_B-X'_3}{\rho}\varepsilon_{\beta_3}+\frac{X'_B-X'_4}{\rho}\varepsilon_{\beta_4}-\frac{X'_B-X'_3}{\rho}\varepsilon_{\beta_8}-\frac{X'_B-X'_4}{\rho}\varepsilon_{\beta_9}+$$

$$+\sum_{i=8,\,3,\,9}\sin\alpha'_i\varepsilon_{l_i}+f_{y_3}=0;$$

где v_β — угловая невязка замкнутого полигона 1-2-3-4-5-6-1;
f_{x_1}, f_{y_1} — невязка в приращениях координат замкнутого полигона 1-2 3-4-5-6-1;
f_{x_2}, f_{y_2} — невязка в приращениях координат полигона *А*-1-6-*А*;
f_{x_3}, f_{y_3} — невязка в приращениях координат полигона *В*-3-4-*В*;
x', y' — условные координаты пункта.

Для определения свободных членов и коэффициентов условных уравнений сеть вычисляется в условной системе координат, в которой условная ось абсцисс совпадает со стороной „*А*-1", а условное начало координат — с отвесом *А*.

Условные дирекционные углы сторон замкнутого полигона *А*-1-6-*А* вычисляются, исходя из дирекционного угла стороны „*А*-1" по формулам:

$$(1-6)'=(\beta_7-\beta_1)\pm 180^\circ;$$

$$(6-A)'=(1-6)'+(\beta_{10}-\beta_6)\pm 180^\circ.$$

Решив систему условных уравнений (58) под условием

$$[p_{\beta_i}\varepsilon^2_{\beta_i}]+[p_{l_i}\varepsilon^2_{l_i}]=\min,$$

найдем вероятнейшие поправки к измеренным углам и длинам сторон.

Для вычисления уравненной сети в единой системе координат вычисляется уравненный соединительный полигон *А*-1-2-3-*В* в условной системе координат, и по формуле (23) определяется уравненный дирекционный угол стороны „*А*-1", исходя из которого вычисляются в единой системе координат уравненные дирекционные углы сторон сети.

По уравненным длинам сторон вычисляются приращения координат всех вершин уравненной сети.

Правильность уравнивания сети контролируется удовлетворением геометрических условий в замкнутых полигонах и равенством координат отвеса *В* из подземной и поверхностной съемок.

В заключение отметим, что подземные соединительные полигоны, а также сети подземных соединительных полигонов, пройденные в пределах околоствольных дворов, должны уравниваться строгим способом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акулов В. И. Способ вычисления ориентировки через два вертикальных ствола, журнал „Уголь", № 12, 1959.

2. Белоликов А. Н. Уравновешивание ориентировки через два вертикальных ствола по способу наименьших квадратов. Исследования по вопросам маркшейдерского дела, сборник XXVI, ВНИМИ, 1952.

3. Буй Т. А. К вопросу об ориентировании подземной съемки через две или три вертикальных шахты. Сборник научных трудов кафедры маркшейдерского дела и геодезии Донецкого индустриального института, выпуск 1, Металлургиздат, 1950.

4. Баранов А. Н., Егунов К. И. и др. Геодезия в туннелестроении, часть II. Геодезиздат, 1953.

5. Ержанов Ж. С. К ориентировкам через два вертикальных ствола. „Уголь", № 3, 1955.

6. Келль Н. Г. Графическое уравнение. „Труды ЦНИМБ", № 10, 1939.

7. Ростковский Б. А. Ориентировка подземной съемки через две вертикальные шахты. „Труды ЦНИМБ", выпуск II, 1940.